Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy
OPEN ACCESS JOURNAL

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران
سال سی و دوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۴۰۹ تا ۴۲۴

بررسی‌های کانی‌شناسی، دگرسانی و میانبارهای سیال در رخداد کانه‌زایی رگه‌ای تازه‌کند، شمال شرق زنجان، شمال غرب ایران

زهره جبارزاده*، کمال سیاه‌چشم، علی‌اصغر کلاگری

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۸/۲۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۸)

چکیده: گستره معدنی تازه‌کند به عنوان بخشی از کمربند فلززایی طارم- هشتجین در ۴۵ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان زنجان، شمال‌غرب ایران واقع است. سنگ‌های درونگیر این نشانه شامل توده‌های نفوذی مرکب با ترکیب سنگ‌شناسی کوارتز مونزونیت، مونزودیوریت، دیوریت و گابرو به سن الیگومیوسن هستند. پهنه‌های دگرسانی در این منطقه به طور عمده شامل کلریت- سریسیت، فیلیک، آرژیلیک، پروپیلیتیک، سیلیسی و کربناتی هستند. کانه‌زایی بیشتر به شکل‌های پراکنده، رگه-رگچه‌ای متقاطع و جانشینی در دو مرحله جدای درونزاد و برونزاد رخ داده است. پیریت کانی سولفیدی عمده درونزاد است که با کانی‌های مگنتیت، هماتیت، هماتیت ورقه‌ای (اسپکیولاریت)، کالکوپیریت و گالن همراهی می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های برونزاد در این منطقه هماتیت، گوتیت، لیمونیت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت هستند که مجموعه کانی‌های درونزاد را همراهی می‌کنند. با بررسی سازای میانبارهای سیال موجود در رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی همراه با دگرسانی‌های فیلیک، سیلیسی و آرژیلیک، چهار نوع میانبار سیال تک فاز مایع (L)، تک فاز بخار (V)، دو فازی غنی از مایع (L+V) و دو فازی غنی از بخار (V+L) شناسایی شد. دماهای همگن شدگی میانبارهای سیال مورد بررسی در گستره ۱۴۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کنند و دماهای ذوب آخرین بلور یخ در میانبارهای سیال دو فازی نشان دهنده شوری ۰٫۱۸ تا ۸٫۸۱ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند. بر اساس نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال، جوشش و رقیق‌شدگی با آب‌های زیرزمینی با خاستگاه جوی سازوکار اصلی در گسترش و تکامل این نشانه معدنی محسوب می‌شوند. براساس ویژگی‌ها و الگوی منطقه‌بندی دگرسانی، کانه‌زایی و میانبارهای سیال، گستره معدنی تازه‌کند دارای بیشترین شباهت با ذخایر رگه‌ای مس وابسته به ذخایر مس پورفیری است.

واژه‌های کلیدی: *کانی شناسی، کانه‌زایی؛ دگرسانی؛ میانبارهای سیال؛ تازه‌کند؛ زنجان.*

مقدمه

کمربند فلززایی طارم- هشتجین از گستره‌های مهم فعالیت ماگمایی- فلززایی در ایران بوده و گستره معدنی تازه‌کند به عنوان بخشی از کمربند فلززایی طارم- هشتجین با مختصات جغرافیایی ″۵۸ ′۴۵ °۴۸ طول شرقی و ″۲۹ ′۴۴ °۳۶ عرض شمالی در ۴۵ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان زنجان واقع است. بررسی‌های انجام شده بر این نشانه و مناطق پیرامون آن شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طارم [۱]، حفر ترانشه و حفاری ۱ حلقه گمانه اکتشافی به روش مغزه‌گیری با عمق ۴۷۱ متر در قالب طرح پی‌جویی فلزهای پایه و گرانبها توسط شرکت صنعت بنا ماشین است و اطلاعات جامع و دقیقی درباره ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌نگاری زیرسطحی آن وجود ندارد. در این پژوهش، میانبارهای سیال موجود در رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی بررسی شدند و بر اساس نتایج ریزدماسنجی، شرایط دما، فشار و ترکیب شیمیایی سیال ماگمایی-گرمابی مسئول کانه‌زایی و دگرسانی در طول

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۹۳۱۹۱۱۷، پست الکترونیکی: Zohreh.Jabarzadeh@gmail.com

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

عمر سامانه گرمابی بازسازی شد. سرانجام با ترکیب نتایج ریز- دماسنجی میانبارهای سیال و بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌نگاری، شرایط فیزیکو- شیمیایی، خاستگاه و روند تکامل سیال‌های گرمابی مسئول کانه‌زایی فلزهای پایه مشخص گردیدند. از کانسارها و رخدادهای مهم معدنی در این گستره می‌توان به کانسارهای چندفلزی لوبین زرده [۲]، مس علی‌آباد [۳]، مس- طلای رشت آباد [۴]، مس آق‌کند [۵]، طلا گلوجه [۶]، آهن سرخه دیزج و ذاکر [۷] نیز اشاره کرد.

روش بررسی

به منظور تعیین ماهیت کانی‌سازی و دگرسانی گرمابی، بررسی های در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی، زمین‌شناسی منطقه، دگرسانی‌های گرمابی، کانه‌زایی و چگونگی ارتباط آن‌ها با سنگ‌های درونگیر بررسی گردیده و از رگه‌های سیلیسی، پهنه‌های دگرسانی و سنگ دیواره سالم و کمتر دگرسان شده سطحی و مغزه‌های حفاری نمونه‌برداری اصولی شد. در بررسی های آزمایشگاهی، ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی کانسنگ، سنگ میزبان و مجموعه‌های دگرسانی تعیین گردیدند. بررسی‌های بافتی و کانی‌شناسی به روش رایج میکروسکوپی بر ۱۳ مقطع صیقلی، ۲۲ مقطع نازک و ۳۲ مقطع نازک- صیقلی انجام شد. برای تعیین فازهای کانیایی غیر قابل تشخیص در پهنه‌های دگرسانی، تعداد ۱۱ نمونه به روش پراش پرتو ایکس (XRD) دستگاه Philips-Xpert Pro در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱) که با ترکیب نتایج این بررسی‌ها، توالی همایندی کانی‌سازی و مجموعه‌های دگرسانی گرمابی تعیین شد. به منظور بررسی میانبارهای سیال، تعداد ۱۵ نمونه از رگه-رگچه‌های سطحی و زیرسطحی کوارتز- سولفیدی توده‌های نفوذی و واحد آتشفشانی دگرسان شده که کانی کوارتز مهم‌ترین همبرزاد با کانه‌زایی است، انتخاب گردیدند و مقطع دوبر صیقل آن‌ها با ضخامت حدودی ۱۰۰ میکرون تهیه شد. سپس با بررسی‌های دقیق سنگ‌نگاری، تعداد ۱۰ مقطع برای ریزدماسنجی در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس انتخاب شدند (جدول ۲). بررسی‌های ریزدماسنجی در دو مرحله گرم کردن و سرد کردن بر روی ۱۳۵ میانبار سیال در نمونه‌های سطحی و زیر سطحی منطقه تازه‌کند به کمک استیج مدل THMS600 گرم کننده و منجمد کننده لینکام که بر روی میکروسکوپ المپیوس BX60 نصب شده، انجام شد. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری محدوده دمایی ۱۹۶- تا $+600^{\circ}C$ بوده و جهت تنظیم آن از استانداردهای نیترات سدیم با نقطه ذوب $+308^{\circ}C$ و تتراکلریدکربن با نقطه ذوب $-22.99\ ^{\circ}C$ استفاده شد.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی عمومی و سنگ‌شناسی واحد آتشفشانی و توده‌های نفوذی در ارتباط با کانه‌زایی

کمربند کانه‌زایی طارم- هشتجین در جنوب‌شرقی کمربند ماگمایی البرز- آذربایجان، در قسمت غربی کمربند ماگمایی البرز و بخش‌های مرکزی کمربند کوهزایی و فلززایی آلپ- هیمالیا واقع است [۸-۱۰] (شکل ۱ الف). پهنه ماگمایی طارم - هشتجین با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق به صورت موازی در کنار گسل روراندگی زاگرس با عرض تقریبی ۱۵۰-۸۰ کیلومتر و طول بیش از ۳۰۰ کیلومتر، میزبان تعداد زیادی از کانسارهای فراگرمایی چندفلزی و Au-Ag در ارتباط با توده‌های گرانیتوئیدی الیگوسن و واحدهای آتشفشانی- رسوبی (سازند کرج) ائوسن [۷، ۱۱] است. نفوذ طیف گسترده‌ای از توده‌های نفوذی با ماهیت و سن‌های متفاوت طی الیگومیوسن منجر به تشکیل دگرسانی‌ها با کانه‌زایی مختلف در طول این کمربند شده است [۷، ۱۲].

گستره معدنی تازه‌کند به عنوان بخشی از کمربند فلززایی طارم- هشتجین درون و پیرامون توده نفوذی واقع است. فعالیت‌های ماگمایی در این گستره به طور عمده شامل مجموعه‌ای از توده‌های نفوذی با ترکیب سنگ‌شناسی مونزونیت تا گابرو به سن الیگومیوسن و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن هستند. پنج واحد سنگی آتشفشانی و آذرآواری ائوسن به ترتیب کاهش سن شامل واحد E_k^{v1} (گدازه‌های آندزیتی با بافت پورفیری)، واحد E_k^{t1} (توف بلوری، توف سنگی بلوری و خاکستر توف)، واحد E_k^{t2} (توف برشی، توف پامیسی و توف جوش خورده در بخش زیرین و توف سنگی، توف بلوری و خاکستر توف در بخش بالا)، واحد E_k^{vt3} (تناوب گدازه‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی با بافت پورفیری توف‌های حدواسط با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ، لای سنگ و گل سنگ است) و واحد E_k^{t3} (ماسه سنگ، لای سنگ، ماسه سنگ توفی) هستند [۳] که با توده‌های نفوذی قطع شده‌اند. (شکل ۱ ب). نتایج بررسی‌های سنگ‌شناسی سنگ آندزیتی و توده‌های نفوذی بدر ادامه بیان می‌شود.

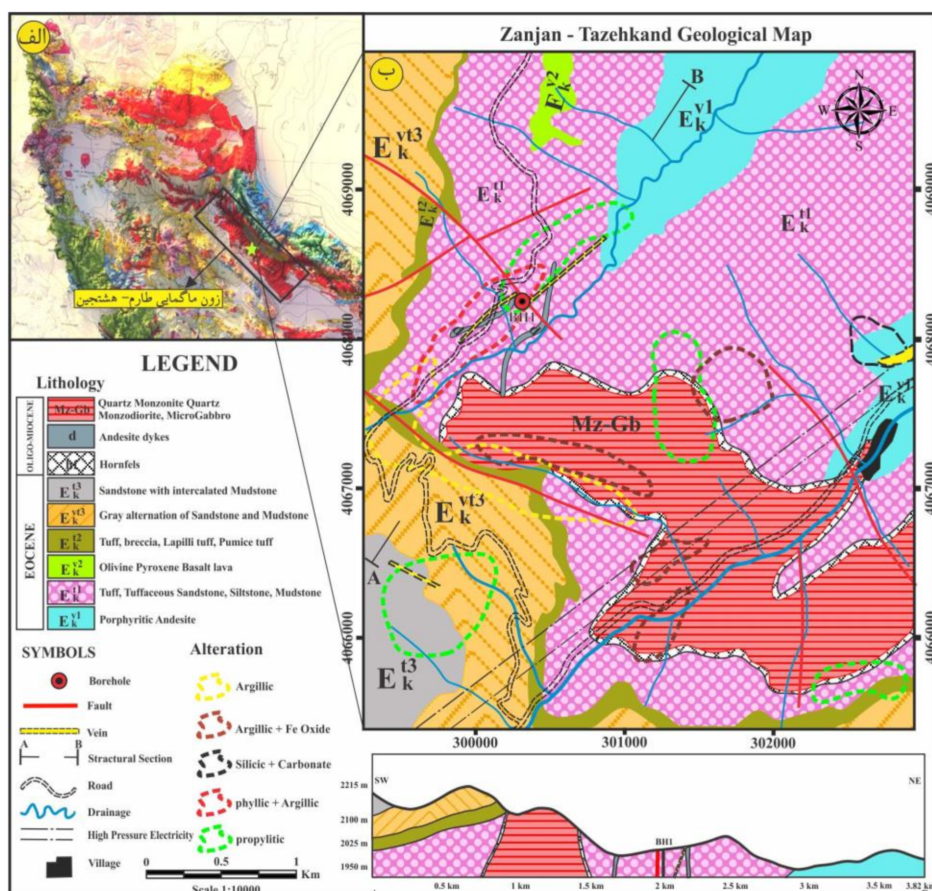
[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

جدول ۱ نتایج آنالیز XRD نمونه‌های سطحی و زیر سطحی گستره معدنی تازه‌کند.

ردیف	نوع	شماره نمونه	نوع دگرسانی	کانی‌ها
۱	سطحی	S-T2-3	نسبتاً سالم-کلریتی	کوارتز، آندزین، ارتوکلاز، کلینوکلر، مگنزیوهورنبلند
۲		S-5-1	نسبتاً سالم-سریسیتی	آلبیت، ارتوکلاز، دیوپسید، ساندین، سریسیت
۳		S-TZK-4	فیلیک-آرژیلیک	آلبیت، پیریت، کوارتز، سریسیت، ورمیکولیت، ایلیت
۴		S-TZK-5	کلریتی	کوارتز، آلبیت، کلینوکلر، مالاکیت، کاماسیت
۵		S-TZK-9	آرژیلیک پیشرفته	کوارتز، آلونیت، دیکیت، کلسیت، انیدریت
۶		S-2-3	آرژیلیک-برونزاد	کوارتز، سریسیت، آلبیت، مونتموریلونیت، جاروسیت
۷	زیر سطحی	BH1-241	پروپیلیتیک	کوارتز، اپیدوت، کلینوکلر، کلسیت
۸		BH1-343	پروپیلیتیک-فیلیک	انیدریت، کوارتز، آلبیت، پیریت، سریسیت، ژیپس، کلسیت
۹		BH1-344	فیلیک	ژیپس، کوارتز، کلسیت، انیدریت
۱۰		BH1-431	فیلیک	کلسیت، ژیپس، کوارتز، انیدریت، سریسیت، کریستوبالیت
۱۱		BH1-445	فیلیک	آلبیت، پیریت، ژیپس، ایلیت، سریسیت، کوارتز

جدول ۲ نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال در بلورهای کوارتز همزاد با کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای سولفیدی در محدوده تازه‌کند، (Tm_{ice}= دمای ذوب آخرین تکه یخ، Th_{L-V}= دمای همگن‌شدگی به مایع).

نمونه ها		اندازه(μm)	تعداد	نوع	رده بندی زایشی	Tm_{ice} (°C)	شوری (wt% NaCl. eq)	Th_{L-V} (°C)	چگالی (gr/cm³)
سطحی	TZ	۲-۲۰	۹۶	L+V	P	-۶-۰	۰٫۱۸-۸٫۸۱	۱۴۰-۳۰۰	۰٫۷-۰٫۹
	ZA	۲-۲۰	۱۱	L+V	P	-۵-۰	۱-۷٫۵	۱۶۰-۲۳۰	۰٫۸-۰٫۹
	TG	۲-۲۰	۹	L+V	P	-۳-۰	۱-۵	۱۶۰-۲۰۰	۰٫۹
زیر سطحی	BH1-76	۸-۱۸	۱۹	L+V	P	-۶-۰	۱-۷٫۵	۱۷۰-۲۳۵	۰٫۸-۰٫۹



شکل ۱ الف) نقشه پهنه‌های ساختاری شمال غرب ایران و جایگاه کمربند ماگمایی طارم- هشتجین [۸-۱۰]، ب) نقشه زمین‌شناسی تهیه شده با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ برای منطقه تازه‌کند به همراه برونزد پهنه‌های دگرسانی برگرفته از مرجع [۱].

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

لاتیت آندزیت: این واحد آتشفشانی با گسترش سطحی قابل توجه، دارای بافت پورفیری است و کانی‌های اصلی سنگ شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کوارتز به همراه کانی های فرعی فرومنیزین (کاملاً دگرسان) هستند. پلاژیوکلازها به دو صورت درشت بلور و ریزسنگ در زمینه سنگ دیده شدند و به طور بخشی به کلسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند، همچنین متن سنگ با رگه- رگچه‌های دربردارنده کانه‌زایی و کانی‌های کربناتی قطع شده است. زمینه سنگ را مجموعه ریزسنگ‌های بسیار باریک و ظریف فلدسپار در زمینه‌ای از شیشه آتشفشانی تشکیل می‌دهد که دستخوش دگرسانی سیلیسی و کربناتی شده است.

تراکی‌آندزیت و آندزیت پورفیری: گمانه حفر شده در گستره معدنی تازه‌کند در عمق‌های ۷۰ تا ۱۳۵، ۲۸۰ تا ۳۹۵، و ۴۴۹/۵ تا ۴۷۱ این واحد را قطع کرده است. این واحد در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره مایل به سبز و خاکستری روشن مایل به سفید با بافت پورفیری و مگاپورفیری دیده می‌شود. کانی‌های اصلی این واحد پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و کوارتز هستند. بلورهای پلاژیوکلاز هم به صورت شکل‌دار تا نیمه-شکل‌دار با اندازه میانگین ۳ میلی‌متر (در نمونه‌های زیرسطحی به ۱ سانتی‌متر نیز می‌رسند) درشت بلور اصلی و هم به صورت ریز تا مخفی بلور زمینه سنگ را شکل می‌دهند. این کانی دارای ماکل چندریختی بوده که گاهی در اثر دگرسانی ماکل آن از بین رفته و با افزایش عمق گمانه به ترتیب به کانی‌های کلریتی، کربناتی، سریسیت و مسکویت درشت بلور دگرسان شده است.

ریزکوارتز مونزونیت پورفیری: این واحد نفوذی نیمه‌عمیق در منطقه مورد بررسی گسترش سطحی و زیرسطحی قابل توجهی دارد و گمانه حفر شده در عمق ۱۳۵ تا ۱۵۸ و ۳۹۵ تا ۴۴۹/۵ این واحد را قطع کرده است. بر اساس نوع دگرسانی دچار شده، رنگ ظاهری آن از خاکستری تیره، سبز روشن تا خاکستری مایل به سفید تغییر می‌یابد. درشت بلورهای فلدسپار با رنگ روشن که در اثر دگرسانی سریسیتی سفید شده‌اند (شکل ۲ الف) و درشت بلورهای سبز اپیدوت با اندازه یک سانتی متر که در فرآیند دگرسانی پروپیلیتیک تشکیل شده‌اند در نمونه‌های دستی دیده می‌شوند. کانی‌های اصلی در این واحد شامل پلاژیوکلاز، فلدسپارقلیایی، کانی‌های فرعی، پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز همراه با بافت پورفیری و زمینه ریزبلوری، دانه ای و گلومروپوفیری هستند. پلاژیوکلاز فراوان-ترین کانی در این سنگ بوده و در برخی از بخش‌ها، کانی بیوتیت از کانی‌های اصلی نمونه است که بلورهای متوسط و بی‌شکل آن به صورت پراکنده در متن سنگ تشکیل شده‌اند (شکل ۲ ب). فلدسپار قلیایی از نوع ارتوز با ماکل کارلسباد به صورت ریزبلور نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در متن سنگ این واحد حضور دارد که در اثر دگرسانی سریسیتی شده‌اند. انبوه درشت بلورهای اغلب سالم پیروکسن با اندازه بلوری به طور میانگین ۱ میلی‌متر باعث تشکیل بافت گلومروپورفیری شده‌اند. کانی هورنبلند به طور کامل به کانی کلریتی دگرسان شده و تنها قالب‌های این کانی باقی مانده است. کوارتز به صورت درشت بلور بی‌شکل و رگچه‌ای با فراوانی کمتر از ۵ درصد فضای بین کانی‌ها را پر کرده است و در متن سنگ به صورت ریز بلور همراه با ارتوز دیده می‌شود.

مونزودیوریت پورفیری: این واحد از دیگر واحدهای نفوذی با مرز نامشخص به رنگ خاکستری تیره که به صورت سطحی در لبه دره رودخانه دستجرده و به صورت زیر سطحی در عمق ۱۵۸ تا ۲۸۰ متر نیز دیده می‌شود. با افزایش عمق گمانه بر شدت دگرسانی پروپیلیتی افزوده و از شدت کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای پیریت و کالکوپیریت کاسته می‌شود. در نمونه دستی، درشت بلورهای پلاژیوکلاز، رگه- رگچه‌های دربردارنده کانه‌زایی سولفیدی+ اپیدوت+ سیلیس، رگچه‌های سیلیسی و رگچه‌های اپیدوت+ کلریت دیده می‌شوند. این واحد دارای بافت پورفیری، گلومروپورفیری تا بین دانه‌ای است و کانی‌های اصلی نیز شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، کلینوپیروکسن، آمفیبول و کوارتز هستند (شکل ۲ پ).

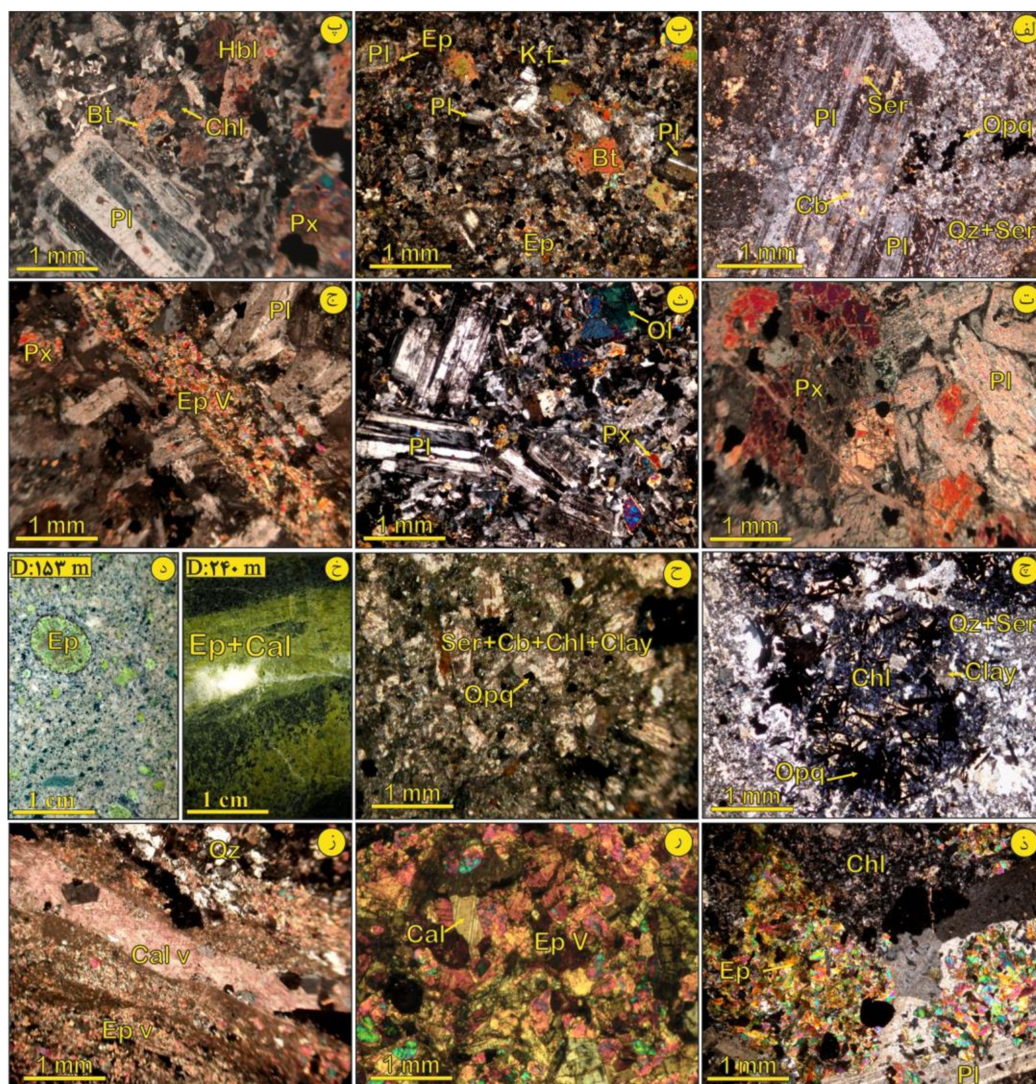
گابرو: این واحد بیشتر در سطح گستره معدنی تازه‌کند در مرتفع‌ترین بخش توده نفوذی و همچنین در برش کنار جاده طارم و رودخانه سولوچای رخنمون دارد و در گمانه حفر شده فقط به صورت برونبوم دیده شد. گابرو در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره است و بافت بین دانه ای، پورفیری و خال خال را نشان می‌دهد. کانی‌های درشت بلور شکل‌دار پلاژیوکلاز، کانی‌های اصلی این واحد بوده که در همراهی با کانی‌های فرعی بلورهای نیمه شکل‌دار با ابعاد درشت تا ریز پیروکسن، بلورهای شکل‌دار هورنبلند، کوارتز و کانی کدر هستند (شکل ۲ ت) و در نمونه‌های سطحی بلورهای ریز و نیمه شکل‌دار الیوین نیز دیده شد (شکل ۲ ث). نمونه‌های عمقی این واحد دارای رگه-رگچه‌های حاوی کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت و کربنات با تراکم متوسط می‌باشند (شکل ۲ ج) و متن سنگ از بلورهای تیغه‌ای و باریک پلاژیوکلاز سریسیتی شده تشکیل شده است

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

که در فضای بین آن‌ها، پیروکسن، کلریت، اپیدوت و کانی کدر ریز بلور به صورت بافت ریز بین دانه‌ای جای گرفته‌اند.

دگرسانی‌های گرمابی و کانی‌شناسی کانسنگ

پهنه‌های دگرسانی گسترش سطحی متوسط و عمقی به نسبت بالایی دارنده و بیشتر واحدهای سنگی منطقه را متاثر کرده و تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی گسترده‌ای در آن‌ها ایجاد کرده‌اند. بررسی‌های بافتی و کانی‌شناسی نشان دهنده دگرسانی گرمابی به دو صورت جانشینی در متن کانی‌های پیشین و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگی‌هاست. کانی‌های کوارتز، سریسیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت، آلونیت، دیکیت، مونتموریلونیت، ایلیت، انیدریت، سنگ گچ، کریستوبالیت و اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن از مهم‌ترین کانی‌های ثانویه شناسایی شده در مجموعه‌های دگرسانی هستند که به صورت دگرسانی‌های درونزاد کلریت-سریسیت، فیلیک، پروپیلیتی، کربناتی، آرژیلیک پیشرفته و متوسط، سیلیسی و برونزاد اکسید و هیدرواکسیدهای آهن در منطقه تظاهر یافته‌اند.



شکل ۲ تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از دگرسانی‌های گرمابی در گستره معدنی تازه‌کند: الف) پولک‌های ریز سریسیت بر سطح فلدسپارها و زمینه سنگ، ب) بیوتیت بی شکل پراکنده، پ) درشت بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند با دگرسانی کلریتی به همراه بیوتیت بی‌شکل ریز بلور در توده نفوذی مونزودیوریت پورفیری، ت) نمونه‌زیر سطحی از توده نفوذی گابرو همراه با تجمع بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز دگرسان شده با بافت گلومروپورفیری، ث) نمونه سطحی از توده نفوذی گابرو بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز، نیمه شکل‌دار پیروکسن و الیوین با دگرسانی ضعیف، ج) نمونه‌زیر سطحی از توده نفوذی گابرو دارای پلاژیوکلاز با بافت دانه‌ای که توسط رگچه اپیدوتی قطع شده‌اند، چ، ح) کلریت-سریسیت- کانی‌های رسی در دگرسانی کلریتی-سریسیتی، خ) رگچه‌های اپیدوتی، د، ذ) اپیدوت جانشین شده در درشت بلورهای پلاژیوکلاز، ر) دگرسانی فراگیر اپیدوتی به همراه کلسیت، ز) بافت نواری اپیدوت-سیلیس-کلسیت. (نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از مرجع [۱۳] برگرفته شده‌اند).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

دگرسانی کلریت- سریسیت: برای نخستین بار توسط سیلیتووگپ [۱۴] برای توصیف مجموعه کانی‌های غیر متداول کلریت + مسکویت/ایلیت + مگنتیت/هماتیت در بخش‌های کم عمق برخی از کانسارهای مس پورفیری در بازنهشت با دگرسانی پتاسیمی مطرح شد. این دگرسانی با تبدیل کانی‌ها مافیک به کلریت، پلاژیوکلاز به سریسیت یا ایلیت و مگنتیت به هماتیت (مارتیت و یا اسپکیولاریت) همراه با ته‌نشست پیریت و کالکوپیریت مشخص می‌شود [۱۵]. در گستره معدنی تازه‌کند دگرسانی کلریت- سریسیت فراگیرترین و مهم‌ترین نوع دگرسانی عمقی و در برگیرنده کانه‌زایی اصلی سولفیدی است. در عمق ۶۰ تا ۱۵۰ متر، این دگرسانی بیشترین شدت را نشان می‌دهد. کانی‌های اصلی این دگرسانی سریسیت- کلریت-ایلیت (شکل ۲ چ)، هماتیت (به صورت بافت مارتیتی با مگنتیت و یا اسپکیولاریت) و کانی‌های فرعی کربنات و کوارتز همراه با کانی‌های سولفیدی هستند. کلریت به صورت پراکنده در متن سنگ و رگچه‌ای دیده می‌شود که در طی فرآیند جانشینی کانی‌های فرومنیزین می‌تواند تولید شود. سریسیت به صورت پولک‌های ریز در متن سنگ و سطح فلدسپارها تشکیل شده است. متن سنگ را بیشتر کانی‌های رسی (ایلیت) و کوارتز ریز بلور تشکیل می‌دهند (شکل ۲ ح).

دگرسانی پروپیلیتی: با حضور مجموعه کانی‌های اپیدوت، اکتینولیت، کلریت، کلسیت و پیریت همراه با سریسیت، کوارتز، کانی‌های رسی با ظاهری سبز رنگ مشخص می‌شود و خارجی‌ترین پهنه دگرسانی در این گستره است. این دگرسانی در عمق ۱۶۰ تا ۳۹۰ و ۴۵۰ تا ۴۷۱ متر را متاثر کرده است. شدت دگرسانی پروپیلیتی در اندازه ۲۰۰ تا ۲۵۰ با تشکیل رگه-رگچه‌های متعدد اپیدوتی با ستبرای یک میلی‌متر تا ۱۵ سانتی‌متر به بیشترین حد می‌رسد (شکل ۲ خ). حضور کمی کربنات و فراوانی اپیدوت‌های درشت بلور در این اندازه بیانگر گریزندگی پایین CO_2 و گریزندگی بالای اکسیژن است [۱۶]. اپیدوت به صورت ریزبلور با بافت پراکنده، درشت بلور با اندازه تا یک سانتی‌متر با بافت توده‌ای، شعاعی، جانشینی و رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود. شدت دگرسانی سنگ در اندازه های مختلف متغیر بوده و در برخی بخش‌ها به صورت انتخابی درشت بلورها (شکل‌های ۲ د، ذ) و در برخی بخش‌ها به صورت فراگیر همه بافت و کانی‌های اولیه سنگ را متاثر کرده است (شکل ۲ ر).

دگرسانی فیلی: گسترش سطحی محدودی دارد که با دگرسانی آرژیلیک بازنهشت شده است. پهنه فیلیک در سطح به رنگ سفید مایل به زرد همراه با شبکه بهم پیوسته‌ای از رگه-رگچه‌های دربردارنده کانه‌زایی سولفیدی دیده می‌شود. بر اساس بررسی نمونه‌های زیرسطحی، دگرسانی فیلیک گسترش عمقی قابل توجهی دارد و در عمق ۳۰۰ تا۳۹۰ متر به صورت بازنهشت با دگرسانی پروپیلیتیک در واحد آندزیت پورفیری گسترش یافته و در ژرفای ۳۹۰ تا ۴۵۰ متر توده نفوذی ریزکوارتز مونزونیت پورفیری را به صورت فراگیر متاثر است. بر پایه بررسی مقاطع نازک-صیقلی و نتایج پراش پرتو ایکس، مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی کوارتز، سریسیت، پیریت، آلبیت، کلسیت، سنگ گچ، انیدریت، کریستوبالیت و ایلیت هستند. رگه‌های با ضخامت میانگین ۳ سانتی‌متر شامل انیدریت و سنگ گچ که نشانگر فازهای تأخیری و بیشتر به صورت رگه‌های دربردارنده تک کانی هستند، دیده شد، که این رگه‌ها می‌توانند همراه با دگرسانی پتاسیمی، سریسیت-کلریت و فیلیک تشکیل شوند.

دگرسانی کربناتی: با رنگ ظاهری سفید و سفید مایل به خاکستری، به عنوان دگرسانی تأخیری، توده‌های نفوذی و واحد آندزیتی در اعماق مختلف را متاثر کرده است و با انباشت کانی‌های کلسیت، کانی‌های کربناتی و کوارتز، در بازنهشت با دگرسانی فیلیک، کلریتی-سریسیتی و پروپیلیتیک دیده می‌شود. شدت این دگرسانی در بخش‌های نزدیک به سطح با تشکیل رگه-رگچه‌های کربناتی افزایش می‌یابد. کلسیت به عنوان فراوان‌ترین کانی کربناتی به صورت رگه-رگچه‌های تاخیری قطع کننده واحد آندزیت در بخش‌های کم عمق‌تر و پرکننده فضای خالی گاهی همراه با کانه‌زایی گالن دیده می‌شود. این دگرسانی در اثر نفوذ سیال CO_2دار و تبدیل کانی‌های مافیک در سطوح رخ‌ها و لبه به کانی کربنات تشکیل می‌شود.

دگرسانی آرژیلیک: فراگیرترین پهنه دگرسانی سطحی بوده که بخش‌های بالایی و لبه توده نفوذی و گدازه‌های آندزیتی را متاثر کرده است و به رنگ سفید مایل به زرد دیده می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های رسی در این پهنه شامل دیکیت و مونتموریلونیت و ایلیت می‌باشد که با کانی‌های آلونیت، کوارتز، سریسیت، آلبیت، کلسیت، جاروسیت، انیدریت و پیریت همراهی می‌شوند (جدول ۱). وجود کانی آلونیت

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$ و دیکیت $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ که شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته هستند رخداد این دگرسانی را در بخش بالایی توده نفوذی اثبات می‌کند که با دگرسانی سیلیسی همراهی می‌شود. با این حال، پهنه دگرسانی آرژیلیک پیشرفته گسترش زیادی در منطقه معدنی تازه‌کند ندارد. حالت اسیدی ($pH>3$) در فواصل دورتر از مرکز سامانه دگرسانی به سمت سنگ‌های دیواره سبب تشکیل هاله‌های دگرسانی آرژیلیک پیشرفته و آرژیلیک گردیده است [۱۷]. آبکافت شدید سیلیکات‌های دارای Al با محلول‌های گرمابی دارای pH اسیدی و فعالیت بالای سولفات در شرایط اکسایشی و دمای ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد [۱۸] در گستره تازه‌کند موجب تشکیل کانی‌های آلونیت، دیکیت، مونتموریلونیت، ایلیت و جاروسیت شده است.

سیلیسی شدن: به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی از نوع کوارتزی با بافت برشی و شکافه پرکن و سیلیسی شدن بخش‌هایی از سنگ میزبان نمود دارد. رگه- رگچه‌های سیلیسی به صورت زیرسطحی با ضخامت کمتر از میلی‌متر همراه با کانه‌زایی سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) و اکسیدی (مگنتیت و اسپکیولاریت) و سطحی همراه با کانه‌زایی کربناتی (مالاکیت و آزوریت) دیده می‌شوند. این رگه-رگچه‌های سیلیسی درون واحدهای آندزیتی از مهم‌ترین پهنه‌های دگرسانی دربردارنده کانه‌زایی هستند. بر اساس نتایج XRD، مهمترین کانی این پهنه کوارتز است که با کانی‌های سریسیت، کریستوبالیت و ایلیت همراهی می‌شود (جدول ۱).

دگرسانی برونزاد و هوازدگی: بخش‌های لبه‌ای توده نفوذی دگرسان شده را متاثر کرده‌اند که رخنمون سطحی آن به رنگ زرد تا قهوه‌ای دیده می‌شود. بر اساس نتایج پراش پرتو ایکس (جدول ۱)، این بخش از کانی‌های کوارتز، مونتموریلونیت، جاروسیت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت و کانی‌های رسی تشکیل شده است. با توجه به گسترش سطحی این کانی‌ها و اکسید شدن پیریت‌ها، به نظر می‌رسد که محلول اسیدی برآمده از اکسایش پیریت [۱۹]، سبب تشکیل اکسید و هیدرواکسیدهای آهن شده است.

کانه‌زایی

بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی صحرایی رگه‌های کانه‌دار سطحی و مغزه‌های حفاری کانی‌زایی در گستره معدنی تازه‌کند به دو بخش سطحی و زیر سطحی تقسیم بندی می‌شود که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته شده است.

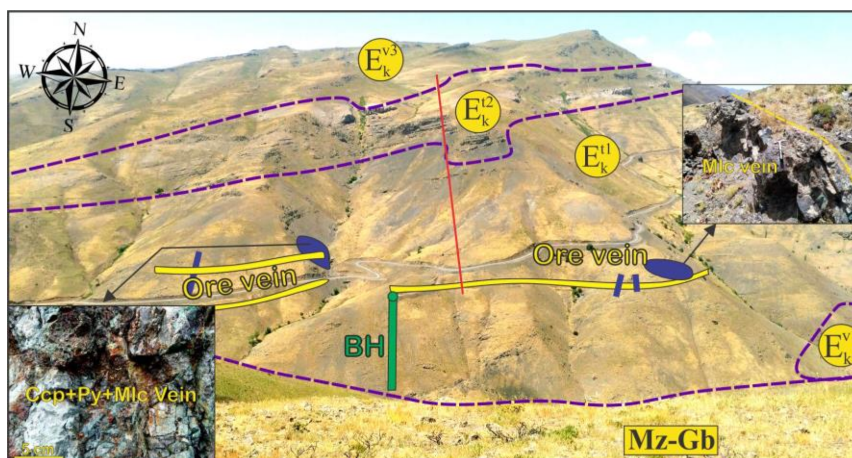
کانی‌زایی سطحی: با ساختار شکستگی‌ها و گسل‌ها کنترل می‌شود و در دو بخش مرکزی و شرق منطقه گسترش دارد (شکل ۱ ب). در بخش مرکزی، کانه‌زایی به صورت رگه- رگچه‌ای سیلیسی متقاطع در سنگ میزبان آذرآواری توف سنگی آندزیت با راستای شمال شرق-جنوب غرب و شیب ۷۰ درجه به سمت شمال غرب با طول قابل دیده بیش از ۸۰۰ متر و ضخامت متوسط یک و نیم متر رخ داده است (شکل ۳). کانسنگ در این بخش به طور عمده از کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت و پیریت، اکسیدی اسپکیولاریت و کانی‌های ثانویه برونزاد کربناتی (مالاکیت و آزوریت) و به مقدار کمتر بورنیت و کالکوسیت تشکیل شده است. رگچه‌های اسپکیولاریتی به صورت سطحی گسترش چندانی ندارند و در اثر فرآیندهای برونزاد به گوتیت تبدیل شده‌اند. در بخش شرقی، کانه‌زایی با سنگ میزبان آندزیت و لاتیت‌آندزیت پورفیری به صورت افشان و رگه-رگچه‌ای در گستره‌ای به مساحت تقریبی ۴۰۰۰ متر مربع رخ داده و به صورت فراگیر در معرض دگرسانی سیلیسی در بازنهشت با دگرسانی سریسیتی بوده است. به طور عمده کانسنگ از کانی‌های درونزاد سولفیدی پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است و با کانی‌های برونزاد چون بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت و هیدروکسیدهای آهن همراهی می‌شوند. در فاز تأخیری، رگه‌های سیلیسی به ضخامت ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر این واحد را قطع کرده‌اند که بدون کانی‌سازی هستند و نشانگر مرحله افول سامانه‌های گرمابی است.

کانه‌زایی زیر سطحی

حفاری اکتشافی بر رگه‌های معدنی تازه‌کند بیانگر ادامه فرآیند کانه‌زایی در عمق به صورت افشان و رگچه‌های ظریف متقاطع در سنگ میزبان و بیشتر وابسته به نوع دگرسانی است. از این رو، کانه‌زایی به چهار بخش تقسیم می‌شود که در ادامه توضیح داده شده است.

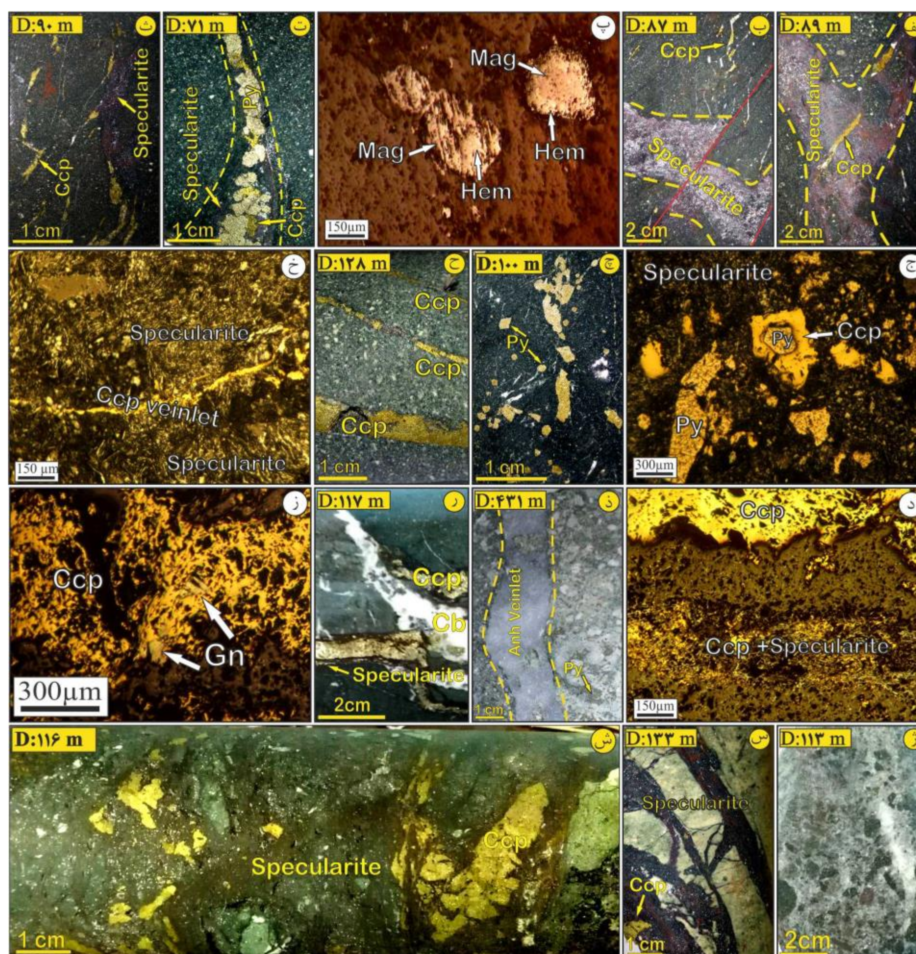
کانه‌زایی زیر سطحی همراه با دگرسانی کلریتی-سریسیتی: کانه‌زایی اصلی سولفیدی (کالکوپیریت و پیریت) و اکسیدی (هماتیت-اسپکیولاریت) در عمق ۶۰ تا ۱۶۰ متر به صورت افشان، رگه-رگچه‌ای و برش‌های گرمابی همراه با دگرسانی کلریتی-سریسیتی دیده می‌شود، که در ارتباط با سنگ میزبان آندزیت و کوارتز مونزونیت است و چهار نوع رگچه دربردارنده کانه‌زایی

شناسایی شد. ۱) رگچه‌های اسپکیولاریت شامل کانی‌سازی اسپکیولاریت به رنگ خاکستری تیره با جلای فلزی و ضخامت حدود ۱ میلی‌متر تا ۵۰ سانتی‌متر زمینه سنگ را قطع کرده که ۲۰ تا ۴۰ درصد کل رگچه‌ها را تشکیل می‌دهند. اسپکیولاریت با خاستگاه درونزاد و فراوانی بیش از ۵۰ درصد کانی غالب رگچه‌های اسپکیولاریتی است و به شکل سوزنی و گاهی ذرات ریز افشان دیده می‌شود. اسپکیولاریت و همچنین مگنتیت و هماتیت فراوان شاهد مهمی برای ماگمای به شدت اکسید کننده در گستره معدنی تازه‌کند می‌باشد. در برخی از رگچه‌ها کانی اسپکیولاریت به تنهایی و در بخش‌هایی از رگچه‌ها به همراه کانی‌های سولفیدی با فراوانی ۲ درصد دیده می‌شود (شکل ۴ الف). حضور ریزچین‌های کوچک در کانی اسپکیولاریت و جابه‌جایی رگچه‌های اسپکیولاریتی نشانگر رخدادهای تکتونیکی پس از کانی‌زایی اکسیدی است (شکل ۴ ب). مگنتیت با بافت افشان به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا بلورهای ریز بی‌شکل دیده می‌شود که از لبه به هماتیت (مارتیتی شدن) تبدیل شده است (شکل ۴ پ). ۲) رگچه پیریتی با کانی غالب پیریت غالب از بلورهای درشت و نیمه شکل‌دار پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت در لبه پیریت‌ها تشکیل شده است. کانه‌زایی سولفیدی در بخش میانی رگچه‌های اسپکیولاریت واقع شده و بافت نواری را شکل داده است (شکل ۴ ت). در رگچه‌های پیریتی، در برخی بخش‌ها کانی اسپکیولاریت (با فراوانی ۱۵-۱۰ ٪) و در بخش‌های دیگر کالکوپیریت- سیلیس انباشت بیشتری دارند (شکل ۴ ث). گاهی لبه‌ها و شکستگی‌های موجود در سطح پیریت با کالکوپیریت دربرگرفته شده اند (شکل ۴ ج). پیریت‌های با بافت پراکنده در متن سنگ به دو صورت بی شکل کروی با اندازه بلوری میانگین یک میلی‌متر بی‌شکل کروی و شکل‌دار مکعبی درشت بلور با اندازه میانگین ۵ میلی‌متر دیده شده و رگچه‌های بسیار ظریف و میلی‌متری پیریت این بلورهای افشان در متن سنگ را قطع می‌کنند، که نشانگر چند نسل کانه‌زایی پیریت است (شکل ۴ چ). ۳) رگچه‌های کالکوپیریتی با ضخامت متغیر یک میلی‌متر تا یک سانتی‌متر شامل تک بلور کالکوپیریت با اندازه کمتر از ۱۰ میکرون تا ۳ سانتی‌متر دیده شده‌اند که رگچه‌های اسپکیولاریتی را قطع می‌کنند (شکل‌های ۴ ح، خ). همچنین لبه برخی از رگچه‌های کالکوپیریت را کانی‌های سوزنی اسپکیولاریت دربرگرفته که نشان دهنده فاز تاخیری تشکیل این کانی نسبت به اسپکیولاریت بوده و جایگزینی رگچه‌های کالکوپیریت باعث به لبه راندن اسپکیولاریت در رگچه‌ها شده است (شکل ۴ د). رگچه‌های کالکوپیریت در برخی از بخش‌ها دارای کالکوپیریت ± پیریت ± سیلیس ± کربنات ± کلریت با تظاهر داربستی و ضخامت میلی‌متری هستند و حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد از کل رگچه‌ها را شامل می‌شوند. همچنین قطع شدگی رگچه‌های پیریتی با رگچه‌های کالکوپیریتی نشانگر جوان‌تر بودن رگچه‌های کالکوپیریتی است. کالکوپیریت گاهی از مراکز و لبه‌ها با بورنیت و گالن جانشین شده است ۴) رگچه‌های تأخیری سیلیسی-کربناتی-کلریتی در فاز آخر سامانه گرمابی به صورت رگچه‌های تأخیری تشکیل شده و رگچه‌های شامل کانه‌زایی اکسیدی و سولفیدی را قطع کرده‌اند. بیشتر این رگچه‌ها بدون کانه‌زایی بوده و دارای سیلیس ± کربنات ± کلریت هستند.



شکل ۳ الف) تصویر صحرایی کانه‌زایی مرکزی با مشخص کردن موقعیت توده‌های نفوذی، واحدهای آتشفشانی– رسوبی ائوسن، رگه‌های حاوی کانه‌زایی و نقطه گمانه حفر شده (BH) در گستره معدنی تازه‌کند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]



شکل ۴ الف) تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از کانی‌سازی گستره معدنی تازه‌کند، الف، ب) رگچه‌های اسپکیولاریتی و جابه جای رگچه‌ها، پ) کانه‌زایی پراکنده مگنتیت مارتیتی شده، ت، ث) رگچه‌های پیریتی، ج) پیریت‌های شکل‌دار دربرگرفته شده با کالکوپیریت، چ) پیریت‌های بی‌شکل و شکل‌دار پراکنده در زمینه سنگ، ح، خ، د) رگچه‌های کالکوپیریتی که رگچه اسپکیولاریت را قطع کرده‌اند و لبه رگچه‌ها، اسپکیولاریت نهشته شده است، ذ) رگچه انیدریتی تشکیل شده در دگرسانی فیلیک همراه با کانه‌زایی پراکنده پیریت، ر) رگچه‌های تأخیری کربناتی که رگچه کالکوپیریتی را قطع کرده است، ز) بلورهای گالن به صورت میانبارهای جامد در کالکوپیریت، ژ) برش بدون کانی‌زایی، س) برش‌های با سیمان اسپکیولاریت، ش) برش‌های دارای سیمان کالکوپیریت‌های درشت‌بلور با اندازه بیش از ۲ سانتی‌متر به همراه اسپکیولاریت. (نشانه‌های اختصاری کانی‌ها از مرجع [۱۳] برگرفته شده‌اند).

ب) کانه‌زایی زیرسطحی همراه با دگرسانی پروپلیتیک: از اندازه ۱۶۰ تا ۳۹۰ متر کانه‌زایی به صورت افشان و رگه-رگچه‌ای همراه با دگرسانی پروپلیتیک با ظهور و غالب بودن کانی اپیدوت دیده می‌شود که در ارتباط با سنگ میزبان کوارتز مونزودیوریت، دیوریت و آندزیت پورفیری است. کانه‌زایی در این بخش بسیار ضعیف بوده و شامل مگنتیت، هماتیت، پیریت و گاهی کالکوپیریت است. همچنین دو نسل رگچه در این بخش شناسایی شد. ۱) رگچه‌های اسپکیولاریت- سولفیدی: کانه‌زایی در عمق ۱۶۰ متری به صورت رگچه‌های متراکم داربستی، شامل کانه‌زایی اسپکیولاریت، پیریت، گاهی کالکوپیریت و سیلیس به رنگ خاکستری تیره و جلای فلزی با ضخامت متغیر ۰/۱ تا ۳ سانتی‌متر تظاهر می‌یابد. با افزایش عمق از شدت کانه‌زایی رگچه‌ای اسپکیولاریت همراه با پیریت نیمه‌شکل‌دار درشت بلور کاسته شده و کانه‌زایی مگنتیت به صورت افشان افزایش می‌یابد. در عمق‌های ابتدای این دگرسانی، بلورهای مگنتیت از لبه و سطوح رخ به هماتیت تبدیل شده‌اند و مارتیتی شدن شدت بیشتری دارد و با افزایش عمق، بیشتر بلورهای مگنتیت به صورت سالم دیده می‌شوند. ۲) رگچه‌های اپیدوتی در دگرسانی پیروپیلیتیک غالب بوده و ضخامتی درحد میلی‌متر تا بیش از ۱۵ سانتی‌متر دارند. اپیدوت

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

به صورت افشان و توده‌ای در زمینه سنگ حضور دارد. گاهی کانه‌زایی پیریت و کالکوپیریت همراه با رگچه‌های اپیدوتی دیده می‌شود که فراوانی کمی دارند. رگچه‌های اپیدوتی دربردارنده کالکوپیریت با ضخامت حدود یک سانتی‌متر مگنتیت پراکنده در متن سنگ را قطع کرده و خود گاهی با رگچه‌های سیلیسی تأخیری قطع می‌شوند. برخی دیگر از رگچه‌های اپیدوتی بدون کانه‌زایی و دارای اپیدوت ± سیلیس ± کلسیت هستند. آنها ضخامت متغیر از ۰/۱ تا ۵ سانتی‌متر و بافت نواری دارند که نشانگر تشکیل آنها از نظر زمانی است. آنها به صورت متعدد زمینه سنگ را قطع کرده است (شکل ۲ د).

پ) کانه‌زایی زیر سطحی همراه با دگرسانی فیلیک: از عمق ۳۹۰ تا ۴۵۰ متر با سنگ میزبان توده نفوذی ریزکوارتز مونزونیت پورفیری، کانه‌زایی تنها شامل پیریت و اغلب به صورت افشان با اندازه بلوری ۰/۱ تا ۳ میلی‌متر و با تراکم کم رگچه‌ها دیده شد و دو نوع رگچه در این بخش شناسایی گردید. ۱) رگچه‌های پیریتی همراه با کوارتز و سریسیت که اغلب به شکل رگچه‌های کوتاه و منقطع دیده می‌شود. پیریت به صورت بلورهای افشان در متن سنگ، انباشت در لبه درشت بلورها، شکستگی‌ها و رگچه‌ها تظاهر یافته است و با رگچه‌های غیرفلزی دارای انیدریت و سنگ گچ قطع شده‌اند. ۲) رگچه‌های انیدریتی: متن سنگ دارای رگچه‌های انحلالی فراوان انیدریت و سنگ گچ با ضخامت متغیر ۱ تا ۵ سانتی‌متر به رنگ سفید و شفاف همراه با دگرسانی فیلیک بوده که بدون هرگونه کانه‌زایی سولفیدی و اکسیدی است (شکل ۴ ذ). این رخدادهای انیدریت نشان می‌دهد که سامانه گرمابی بسیار اکسید شده و غنی از گوگرد و دارای سولفات‌های فراوان است. انیدریت و سنگ گچ گرمابی به همراه هماتیت در ذخایر پورفیری نشانگر شرایط اکسیدان و اسیدی سیال کانه‌ساز می‌باشد. در این شرایط، سولفیدهای آهن مانند پیریت و پیروتیت اکسید شده و به هماتیت تبدیل می‌شوند. همچنین گوگرد آزاد شده از این اکسیداسیون با آب واکنش داده و باعث تشکیل ترکیبات سولفاتی مانند انیدریت و ژیپس می‌گردد. این شرایط اکسیدان و اسیدی معمولاً در بخش‌های بالایی ذخایر پورفیری مس رخ می‌دهد. وجود انیدریت، سنگ گچ و هماتیت نشان می‌دهد که سیالات گرمابی بسیار شور، اکسید شده و غنی از گوگرد بوده و احتمالاً از ماگماهای متبلور در دماها و فشارهای بالا معمولی سیستم‌های مس پورفیری خارج شده‌اند [۲۰].

ت) کانه‌زایی زیر سطحی همراه با دگرسانی کربناتی: تنها رگچه‌های کربناتی در این بخش شناسایی شدند که به صورت تأخیری با ضخامت متغیر ۱ میلی‌متری تا ۵ سانتی‌متری تشکیل شده‌اند (شکل ۴ ر) و در سراسر طول گمانه دیده می‌شوند. تراکم رگچه‌های کربناتی در عمق ۱۰۰ الی ۱۲۰ متر افزایش می‌یابد. این رگچه‌ها اغلب بدون کانه‌زایی و تنها گاهی همراه با کانه‌زایی گالن به صورت جزئی هستند و رگچه‌های دارای کانه‌زایی سولفیدی- اکسیدی را قطع کرده‌اند.

برش‌های کانه‌زایی: برش‌ها در سامانه‌های گرمابی اهمیت بسزایی‌دارند، برای تشکیل برش‌های گرمابی باید فشار سیال‌های گرمابی به بالاتر از فشار سنگ ایستایی برسد و در اثر انفجار گرمابی، پدیده برشی شدن شکل گیرد [۲۱]. جوشش و تغییرهای شیمیایی همراه و پس از برشی شدن، در ته‌نشست فلزهای پایه و گرانبها نقش مهمی دارند. از شواهد جوشش در تازه‌کند می‌توان به برش‌های بدون کانه‌زایی و زمینه‌ساز مرحله اصلی کانه‌زایی اشاره کرد [۱۵]. به طور کلی می‌توان برش‌ها را در سه نسل که شامل برش‌های فاقد کانه‌زایی (شکل ۴ ژ)، برش‌های دربردارنده سیمان اسپکیولاریت (شکل ۴ س) و برش‌های دارای کالکوپیریت، پیریت و اسپکیولاریت (شکل ۴ ش) تقسیم کرد، که برش‌های شامل کانه‌زایی سولفید اقتصادی‌ترین نوع برش در این منطقه هستند.

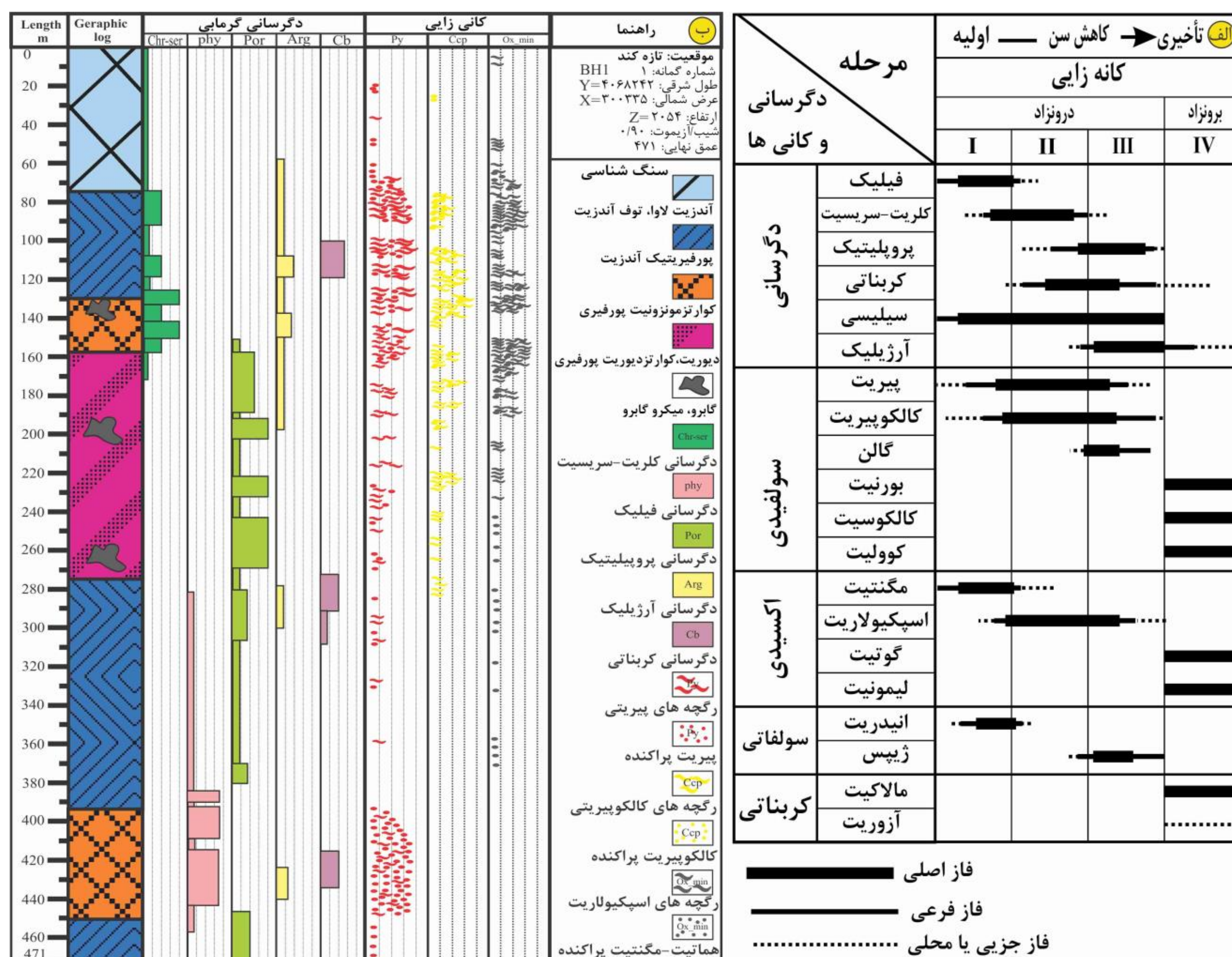
توالی همایندی: کانی‌های تشکیل دهنده کانسنگ و سنگ‌های میزبان دگرسان شده در ۵ دسته شامل کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت)، کانی‌های سیلیکاتی (کوارتز، سریسیت، کلریت، اپیدوت، مونتموریونیت، ایلیت و اکتینولیت)، سولفاتی (انیدریت و سنگ گچ)، کربنات‌ها (کلسیت، دولومیت، مالاکیت و آزوریت) و اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت، اسپکیولاریت، گوتیت و لیمونیت) قرار می‌گیرند. براساس بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و روابط بافتی میان کانی‌های فلزی و غیرفلزی، چهار مرحله کانی‌سازی در این منطقه شناسایی شد (شکل ۵ الف). مرحله اول (I) با کانی‌سازی پراکنده مگنتیت و پیریت، همراهی کالکوپیریت در متن سنگ میزبان و تشکیل کانی‌های گرمابی چون سریسیت، انیدریت، اپیدوت، کلریت و کوارتزهای ریزبلور مشخص می‌شود. اسپکیولاریت نخستین کانی رسوب کرد به صورت رگچه‌ای است و به شکل‌های لایه‌ای، ورقه‌ای و سوزنی دیده می‌شود.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

رگچه‌های سیلیسی در لبه اغلب دارای نوارهای اسپکیولاریت هستند. کلریت‌های شکل‌گرفته در رگچه‌ها بیشتر مستقیم از سیال گرمابی متبلور شده‌اند.

در مرحله دوم (II): رخدادهایی چون جوشش، برشی شدن، تشکیل رگه- رگچه‌های داربستی و متقاطع با بافت پرکننده، لایه‌ای و نواری پدیدار شده‌اند و تشکیل کوارتز، سریسیت و پیریت ادامه یافته و با اضافه شدن مونتموریلونیت و ایلیت درونزاد، منجر به تشکیل رگه- رگچه‌های در بردارنده کانه‌زایی اصلی سولفیدی پیریت، کالکوپیریت و در مقادیر کم مگنتیت و گالن شده است. در بیشتر رگچه‌ها، نخست اسپکیولاریت و سپس کوارتز-کلریت شفاف ریزبلور و سرانجام پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده‌اند. در برخی رگچه‌ها، کالکوپیریت تنها کانی رگچه‌ها بوده و از نظر کانه‌زایی سولفیدی مس بسیار مهم است.

در مرحله سوم (III)، در پی کاهش فعالیت سیال گرمابی، رگچه-های تأخیری کربناتی و سیلیسی به صورت پرکننده فضای خالی تشکیل می‌شوند که بیشتر بدون کانه‌زایی هستند و رگچه‌های دربردارنده کانه‌زایی سولفیدی را نیز قطع کرده و گاهی شکستگی‌های ناشی از فشار سیال گرمابی موجود در بلورهای پیریت و کالکوپیریت را پر کرده‌اند. آخرین کانی معدنی تشکیل شده گالن با دو نسل است؛ نسل اول به صورت میانبارهای جامد در کالکوپیریت (شکل ۴ ز) است که در مرحله (II) رخ می‌دهد و نسل دوم گالن توده‌ای همراه با رگچه‌های کربنات تأخیری دیده می‌شود.



شکل ۵ الف) توالی همایندی دگرسانی و کانه‌زایی، ب) لاگ گمانه حفر شده در گستره معدنی تازه‌کند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

در مرحله چهارم (IV) پس از واقع شدن رگه-رگچه‌های سولفیدی در پهنه اکسیدی (بالای سطح سفره آبدار)، کانی‌های سولفیدی دچار هوازدگی و اکسید شدگی شده و کانی‌های اکسیدی و کربناتی را در پهنه اکسیدی و کانی‌های سولفیدی ثانویه را در پهنه احیا تشکیل می‌دهند که شامل کانی‌های برونزاد (بورنیت، مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت، کوولیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کائولینیت و ایلیت) هستند. با بررسی نمونه‌های برداشت شده زیر سطحی تغییرات عمقی کانی‌سازی، دگرسانی‌های گرمابی، سنگ میزبان و بخش اقتصادی شامل فلزهای پایه به صورت طرح-وار رسم شد که در شکل ۵ ب ارائه شده است.

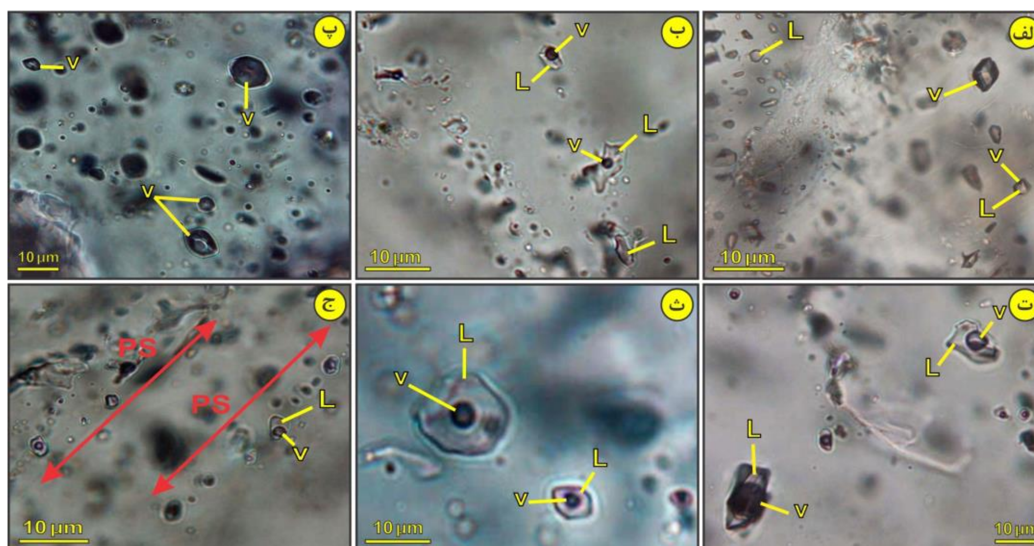
بررسی میانبارهای سیال

سنگ‌نگاری: با توجه به حضور کانی کوارتز در انواع رگه- رگچه-های شامل کانه‌زایی سولفیدی، نمونه‌های سطحی و عمقی بررسی‌های سنگ‌نگاری و میانبارهای سیال منطقه بر روی میانبارهای سیال اولیه با میزبان رگه-رگچه‌های کوارتز کانه‌دار شکافه پرکن و بدون سمتگیری مشخص انجام شدند و ویژگی-های سنگ نگاری میانبارهای سیال درون آن‌ها از جمله شکل و اندازه، رده‌بندی زایشی، نسبت حجمی سیال به بخار و پدیده-های ثانویه پس از به دام افتادن چون نشت و باریک شدگی بررسی گردید. در بررسی سازای درونی آن‌ها، چهار نوع میانبار سیال شناسایی شدند که در ادامه بیان می‌شوند (شکل ۶).

میانبارهای سیال تک فاز مایع (L): ۶۰ تا ۷۰ درصد میانبارهای سیال تک‌فازی از نوع غنی از مایع هستند که مشخصه رگه-رگچه‌های سطحی است و در رگه- رگچه‌های زیرسطحی فراوانی کمتری دارند. این میانبارها به شکل‌های نامنظم، کشیده و کروی به همراه میانبارهای تک‌فاز بخار و دوفازی غنی از مایع دیده می‌شوند و اندازه آن‌ها از ۲ تا ۱۰ میکرون در تغییر است.

میانبارهای سیال تک فاز بخار (V): ۳۰ تا ۴۰ درصد میانبارهای سیال از نوع تک‌فاز غنی از بخار کم‌چگال با اندازه ۲ تا ۱۰ میکرون هستند و اغلب به شکل منفی‌بلور و کروی در نمونه-های سطحی و زیرسطحی دیده می‌شوند. این نوع از میانبارهای سیال اغلب به صورت یک فاز سیال فرار از ماگمای در حال گاز زدایی یا جدایش فازی بخار- مایع در گستره دمایی ۸۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند و نشان‌دهنده رخداد جوشش به دام می‌افتند [۲۲].

میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V): بیشترین حجم (حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد) از میانبارهای سیال را این گروه شامل می‌شود. اندازه آن‌ها از ۲ تا ۲۰ میکرون متغیر است و دارای شکل‌های نامنظم، منفی‌بلور کوارتز، کروی و کشیده هستند. همزیستی این نوع از میانبارهای سیال با میانبارهای تک فاز بخار نشان دهنده جوشش سیال در فشار کم مربوط به کانه-زایی رگه‌ای مراحل پایانی و پیرامونی سامانه‌های پورفیری است [۱۵، ۲۲، ۲۳].



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی انواع میانبارهای سیال موجود در رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی در گستره معدنی تازه‌کند: الف) همزیستی میانبارهای تک فاز مایع با تک فاز بخار، ب) همزیستی میانبارهای سیال تک فاز مایع با دو فازی غنی از مایع (L+V)، پ) سیال تک فاز بخار، ت) همزیستی میانبار سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) با دو فازی غنی از بخار (V+L)، ث) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) و ج) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع شبه ثانویه.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

میانبارهای سیال دو فازی غنی از بخار (V+L): در این نوع سیال-ها، حباب بخار بیش از ۷۰ درصد فضای میانبار را اشغال کرده است و حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد میانبارهای سیال موجود در نمونه‌ها را شامل می‌شود. فراوانی آن‌ها در نمونه‌های سطحی کمتر بوده و اندازه آن‌ها از ۵ تا ۱۵ میکرون در تغییر است. این میانبارها اغلب به شکل‌های نامنظم، کشیده و کروی همراه با میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع دیده می‌شوند.

ریزدماسنجی

ریزدماسنجی در دو مرحله گرم کردن و سرد کردن برای ۱۱۶ میانبار سیال در نمونه‌های سطحی و ۱۹ میانبار سیال در نمونه‌های زیرسطحی انجام شد (جدول ۲). در مرحله گرمایش، اغلب میانبارهای سیال به فاز مایع همگن شدند. با توجه به شواهد جوشش و نبود فازهای CO_2 و CH_4، هیچ گونه تصحیح دمایی بر روی مقادیر دمای همگن شدگی انجام نشد [۱۶]. در مرحله انجماد به منظور محاسبه مقدار شوری، برای میانبارهای سیال دوفازی بدون هالیت، از دمای ذوب آخرین بلور یخ بر پایه رابطه مرجع [۲۴]، استفاده شد.

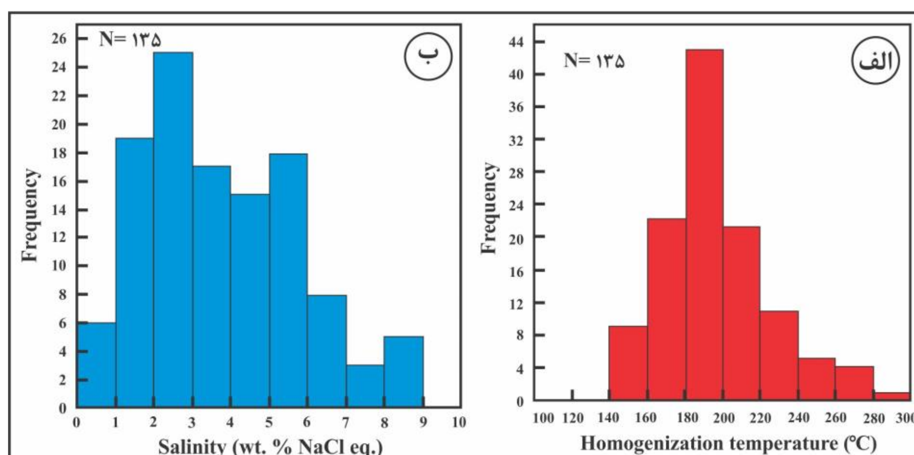
دمای همگن شدگی و شوری نسبی: گرمایش برای میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) که همزمان با کانی‌زایی به دام افتادند انجام شد. همگن شدگی با از بین رفتن حباب بخار و تبدیل دو فاز به یک فاز مایع رخ داد. دمای همگن شدگی در نمونه‌ها در گستره ۱۴۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. شوری هر یک از میانبارهای سیال نمونه‌های مورد بررسی دوفازی غنی از مایع (L+V) به روش سرمایش بدست آمد. دمای آخرین ذوب یخ در گستره ۰/۳- تا ۵/۷- درجه سانتی‌گراد متغیر بوده که نشان دهنده شوری پایین سیال‌های مسئول کانه‌زایی در گستره ۰/۱۸ تا ۸/۸۱ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۷).

تفسیر یافته‌های ریزدماسنجی

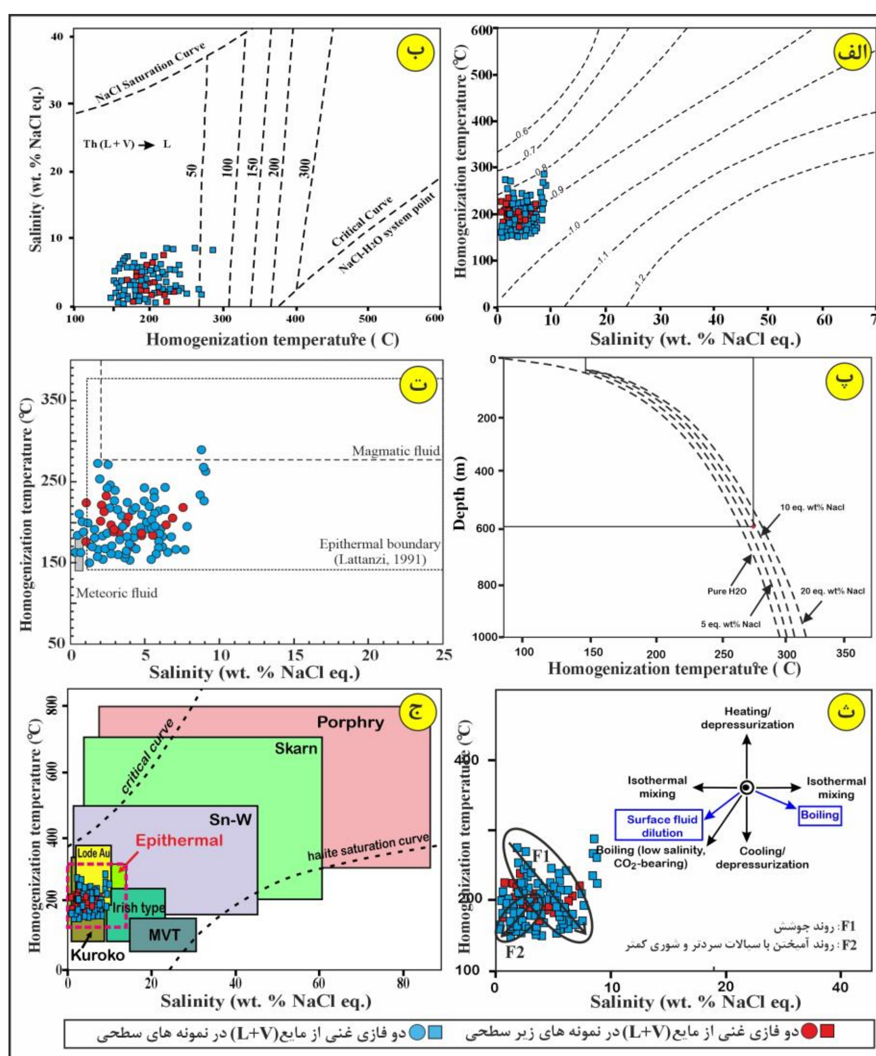
برای محاسبه چگالی و کمینه فشار سیال در زمان به دام افتادن میانبارهای سیال از نمودار دومتغیره دمای همگن شدگی نسبت به شوری [۱۶، ۲۵] استفاده شد (شکل‌های ۸ الف و ب) که بیانگر افزایش چگالی با کاهش دمای همگن شدگی و افزایش شوری است. چگالی سیال‌های مسئول کانه-زایی و دگرسانی کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. با توجه به دمای همگن شدگی و شوری، مقدار فشار کمتر از۵۰ بار به دست آمد. با توجه به اینکه تمام میانبارهای سیال شوری‌های کمتر از ۱۰ درصد دارند از اینرو سیال‌های کانه‌ساز در گستره تازه‌کند غیر اشباع بوده‌اند. با توجه به اینکه سیال کانه‌ساز دچار جوشش شده می‌توان چنین استنباط نمود که این سیال‌ها در هنگام نهشت رگه-رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار فشار هیدرواستاتیکی را تجربه می‌کرده‌اند. بنابراین برای به دست آوردن عمق کانی‌سازی از نمودار عمق نسبت به دمای همگن شدگی [۲۶] استفاده شد، بر اساس (شکل ۸ پ)، اگر بیشینه دمای همگن شدگی را حدود ۲۷۰ درجه سانتیگراد و بیشینه شوری را حدود ۹ درصد در نظر بگیریم آنگاه عمق کانه‌سازی در تازه‌کند تقریباً ۵۵۰ تا ۶۰۰ متر خواهد بود.

برای بررسی خاستگاه و روند تکامل سیال کانه‌ساز از نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری میانبارهای سیال استفاده شد که دماهای بیشتر دارای بیشترین شوری و دماهای کمتر دارای کمترین شوری می‌باشند (شکل ۸ ت). در صورت مخلوط شدن سیال با آب‌های جوی و رقیق شدگی، دمای همگن شدگی و شوری هر دو به سمت مقادیر کمتر میل می‌کنند [۲۷]. با توجه به وضعیت آرایه نقاط مربوط به یافته‌های ریزدماسنجی تازه‌کند به گونه‌ای است که می‌توان دو روند تکاملی را برای سیال‌های کانه ساز در طی فرآیند نهشت رگه-رگچه‌های کانه‌دار متصور شد (شکل ۸ ث). این روندها شامل جوشش و مخلوط شدن سیال‌های گرم با آب‌های شیرین و به نسبت سرد زیرزمینی با خاستگاه جوی هستند. بنابراین جوشش، سازوکار مهم کانه‌زایی در مرحله اصلی کانی‌سازی سولفیدی (F1) و سرد شدن، سازوکار مهم کانه‌زایی در مرحله تاخیری (F2) محسوب می‌شود. یکی از شواهد مربوط به رخداد جوشش در منطقه تازه‌کند حضور برش‌های گرمابی و همزیستی میانبارهای سیال دو فازی L+V و V+L می‌باشد. کاهش دما و جوشش شرایط فیزیکوشیمیایی سیال‌های گرمابی را تغییر داده [۲۴] و باعث ته‌نشست همزمان کانی‌های سولفیدی و باطله کوارتز در فضاهای خالی و شکستگی‌های ناشی از فرآیندهای تکتونیکی و هیدرولیکی شده‌اند. به منظور بررسی عوامل مؤثر در ته‌نشست عناصر کانساری و تعیین نوع کانساری معدنی تازه‌کند از نمودار دمای همگن شدگی نسبت به شوری میانبارهای سیال [۱۶]، استفاده شد که یافته‌های ریزدماسنجی مربوط به تازه‌کند در محدوده ذخایر اپی‌ترمالی قرار می گیرند (شکل ۸ ج). همچنین، این تعبیر و تفسیر توسط نمودار دو متغیره شوری در برابر دمای همگن شدن شکل ۸ ت نیز تائید می‌شود.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]



شکل ۷ الف) توزیع فراوانی دمای همگن دگی، ب) شوری میانبارهای سیال در نمونه‌های سطحی و زیرسطحی گستره معدنی تازه‌کند.



شکل ۸ الف) نمودار تعیین چگالی سیال بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، ب) نمودار تعیین فشار بخار میانبارهای سیال، پ) تعیین عمق کانی‌سازی که در عمق ۶۰۰ تا ۵۵۰ متر قرار می‌گیرد، ت) نمودار تکامل سیال گرمابی برای یافته‌های ریزدماسنجی نمونه‌های منطقه تازه‌کند در محدوده اپی ترمال قرار می‌گیرد [۲۸]، ث) مشخص شدن دو روند تکاملی شامل جوشش و مخلوط شدن برای سیال‌های کانه‌ساز در طی فرآیند نهشت رگه- رگچه‌های کانه‌دار و ج) الگوی توزیع و جایگاه میانبارهای سیال برای تعیین نوع کانی‌زایی گستره معدنی تازه‌کند.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]

برداشت

براساس نتایج بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای سیال موجود در رگه-رگچه‌های کوارتز- سولفیدی، تکامل گرمابی و شرایط فیزیکو-شیمیایی سیال‌های ماگمایی- گرمابی مسئول کانه‌زایی در گستره معدنی تازه‌کند بازسازی شد. سیال‌های ماگمایی- گرمابی با دمای ۱۴۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری در گستره ۰٫۱۸ تا ۸٫۸۱ درصد وزنی معادل نمک طعام برآمده از توده‌های نفوذی در منطقه تازه‌کند مسئول کانه‌زایی سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت و کولیت)، سولفاتی (انیدریت و سنگ گچ)، کربناتی (مالاکیت و آزوریت) و اکسیدی (مگنتیت، هماتیت، اسپکیولاریت، گوتیت و لیمونیت) و دگرسانی‌های گرمابی درونزاد کلریت-سریسیت، فیلیک، پروپلیتیک، کربناتی، آرژیلیک پیشرفته و متوسط، سیلیسی و برونزاد اکسید و هیدرواکسیدهای آهن همراه با کانی‌های ثانویه (کوارتز، سریسیت، کلریت، اپیدوت، آلونیت، دیکیت، مونتموریونیت، ایلیت و کلسیت) در منطقه هستند. بر اساس نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال، جوشش و رقیق‌شدگی با آب‌های زیرزمینی با خاستگاه جوی و کمتر ماگمایی سازوکار اصلی در گسترش و تکامل این نشانه محسوب می‌شود. براساس ویژگی‌ها و الگوی منطقه‌بندی دگرسانی، کانه‌زایی و میانبارهای سیال، نوع کانساری گستره معدنی تازه‌کند بیشترین شباهت را به ذخایر رگه‌ای مس در ارتباط با ذخایر مس پورفیری دارد.

قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند. نگارندگان همچنین از حمایت‌های مالی شرکت صنعت بنا ماشین بهره گرفته‌اند، که به این وسیله از مسئولین این شرکت تشکر می‌نمایند. نگارندگان از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله نیز سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Amini B., "*Geological map of IRAN 1:100000 Tarom (in Persian)*", Geological Survey of Iran (2000)

[2] Zamanian H., Rahmani S., Zarei-sahameih R., "*Fluid inclusion and stable isotope study of the Lubin-Zardeh epithermal Cu-Au deposit in Zanjan Province, NW Iran*", Implications for ore genesis. Ore Geology Reviews, 112 (2019)103014.

[3] Mokhtari M.A.A., Kouhestani H., Saeedi A., "*Investigation on type and origin of Copper mineralization at Aliabad Mousavi-Khanchy occurrence, East of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data (inPersian)"*, Scientific Quarterly Journal, 25 (2016) 259-270

[4] Ajali N., Torkian A., Tale Fazel E., *"Rasht abad Copper-Gold intermediate sulphidation epithermal deposit (north of Zanjan): Evidence of mineralization, Fluid inclusion and stable isotope C-O (in Persian)",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 29 (2021) 207-220.

[5] Kouhestani H., Azimzadeh A.M., Mokhtari, M.A.A., Ebrahimi M., *"Mineralization and fluid evolution of epithermal base metal veins from the Aqkand deposit, NW Iran. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen"*, Journal of Mineralogy and Geochemistry, 194 (2017) 139–155.

[6] Mehrabi B., Ghasemi Siani M., Goldfarb R., Azizi H., Ganerod M., Marsh E.E., *"Mineral assemblages, fluid evolution and genesis of polymetallic epithermal veins, Gulojeh district, NW Iran"*, Ore Geology Reviews 78 (2016) 41–57.

[7] Nabatian G., Ghaderi M., Corfu F., Neubauer F., Bernroider M., Prokofiev V., Honarmand M., *"Geology, alteration, age and origin of iron oxide–apatite deposits in Upper Eocene quartz monzonite, Zanjan district, NW Iran"*, Mineralium Deposita 49 (2014) 217–234.

[8] Alavi M.,*"Tectonic map of the Middle East: Scale1:5,000,000 Tehran (in Persian)*", Geological Survey of Iran (1991).

[9] Azizi H., Jahangiri A., *"Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran"*, J. Geodyn, 45 (2008) 178–190.

copper deposits", Economic Geology, 65 (1970) 920-936.

[20] Liu X., Richard A., Pironon J., Rusk B.G., *"Vein Formation and Reopening in a Cooling Yet Intermittently Pressurized Hydrothermal System: The Single-Intrusion Tongchang Porphyry Cu Deposit"*, Geosciences, 13 (2023), 107.

[21] Jebrak M., *"Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: a review of mechanisms, morphology and size distribution"*, Ore Geology Reviews, 12 (1997)111- 134.

[22] Richards J.P., *"Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins"*, Ore Geology Reviews 40 (2011) 1–26.

[23] Kouzmanov K., Pokrovski G.S., "*Hydrothermal Controls on Metal Distribution in Porphyry Cu (-Mo-Au) Systems"*, Society of Economic Geologists, Special Publication 16 (2012) 573–618.

[24] Bodnar R. J., Vityk .M.O., *"Interpretation of microthermometric data for H_2O-NaCl fluid inclusions in Minerals, Methods and Applications, B. De Vivo and M. L. Frezzotti, eds. "*, Virginia Tech, Blacksburg (1994) 117-130.

[25] Ahmad S. N., Rose A. W., *"Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at Stanta, Rita, New Mexico"*, Economic Geology, 75 (1980) 229-250

[26] Haas J. L., *"The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system in hydrostatic pressure"*, Economic Geology, 66 (1971) 940-946.

[27] Camprubi A., Albinson, T., *"Epithermal deposits in Mexico: Update of current knowledge, and an empirical reclassification"*. Geol. Soc. Spec. Pap, 422 (2007) 377–415.

[28] Naden J., Killias S.P., Darbyshire D.P.F., *"Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmato-hydrothermal mineralization: the example of Milos Island"*, Greece. Geology, 33 (2005), 541–544.

[10] Azizi H., Moinevaziri H., *"Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran"*, J. Geodyn. 47(2009) 167–179.

[11] Aghazadeh M., Castro A., Omran N.R., Emami M.H., Moinvaziri H., Badrzadeh Z., *"The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran"*, J. Asian Earth Sci. 38 (2010) 199–219.

[12] Castro A., Aghazadeh M., Badrzadeh Z., Chichorro M., "*Late Eocene-Oligocene Post-Collisional Monzonitic Intrusions from the Alborz Magmatic Belt, NW Iran. An Example of Monzonite Magma Generation from a Metasomatized Mantle Source"*, Lithos 180-181 (2013)109–127.

[13] Whitney, D.L. and Evans, B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist, 95 (2010) 185–187.

[14] Sillitoe R.H., and Gappe I.M., Jr., *"Philippine porphyry copper deposits: Geologic setting and characteristics: Bangkok, Thailand, United Nations ESCAP"*, CCOP Technical Publication, 14 (1984) 89.

[15] Sillitoe H.R., *"Porphyry copper systems"*, Economic Geology, 105 (2010) 3–41.

[16] Wilkinson J.J., "*Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"*, Lithos 55 (2001) 229–272.

[17] Hedenquist J.W., Arribas A. R., Gonzalez-Urien G., *"Exploration for epithermal gold deposits"*, Economic Geology, 13 (2000) 245-277.

[18] Montoya J.M., Hemeley J.J., *"Activity relations and stabilities in alkali feldspar and mica alteration reactions"*, Economic Geology, 70 (1975) 557-594.

[19] Rose A.W., *"Zonal relations of wallrock alteration and sulfide distribution at porphyry*

[DOI: 10.61186/ijcm.32.3.409]